



# **WATERSTOF DE TOEKOMST?**

**WATERSTOF IN DE TECHNIEK  
TECHNOLOGIE & ICT**



- waterstof is afkomstig van de Griekse woorden "hudro" en " genēs",



## INHOUD

Waterstof na de oerknal

De eigenschappen van waterstof:

- De geschiedenis van de wetenschap
- hoe groot in verhouding
- Hoe snel
- h<sub>2</sub> op een rijtje
- LEL en UEL

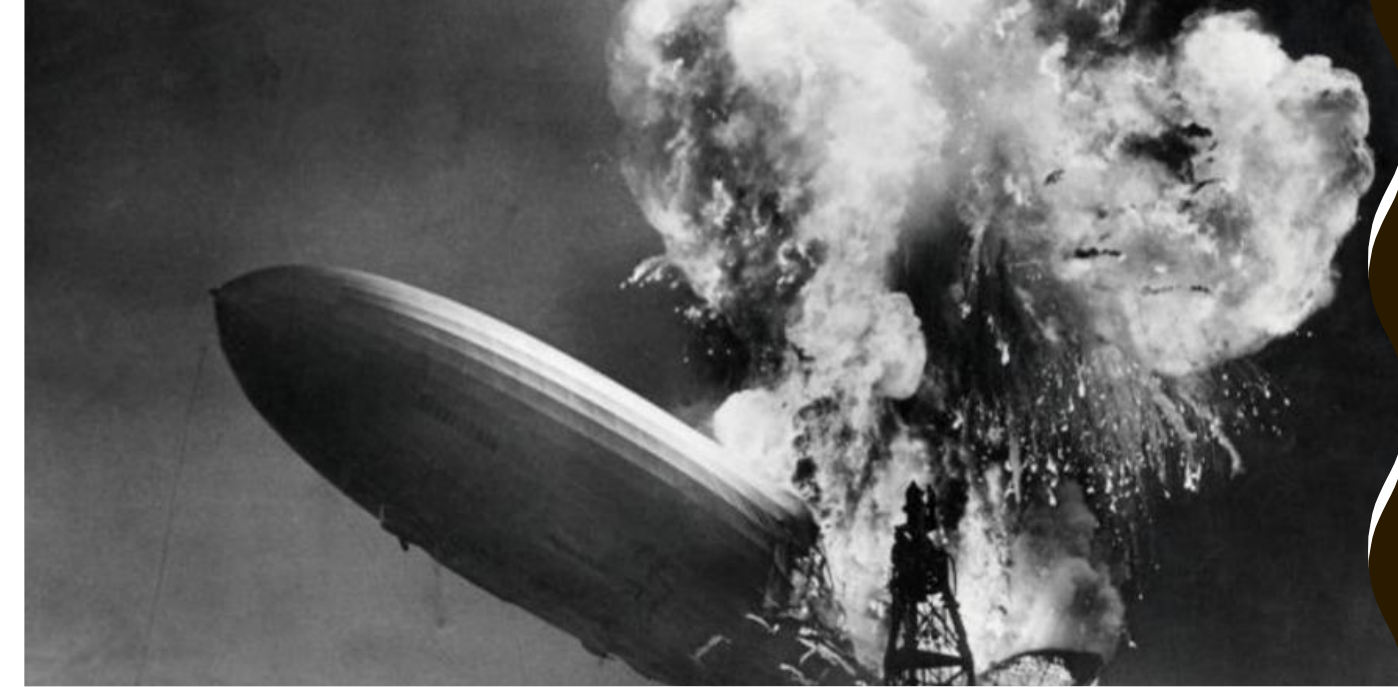
Waarom waterstof?

Aardse toepassingen

Brandstofcel werking

Hoe sla waterstof op.





# WANNEER BEGON HET?

- Boyle beschreef het gas in 1671
- Cavendish ontdekte het in 1766

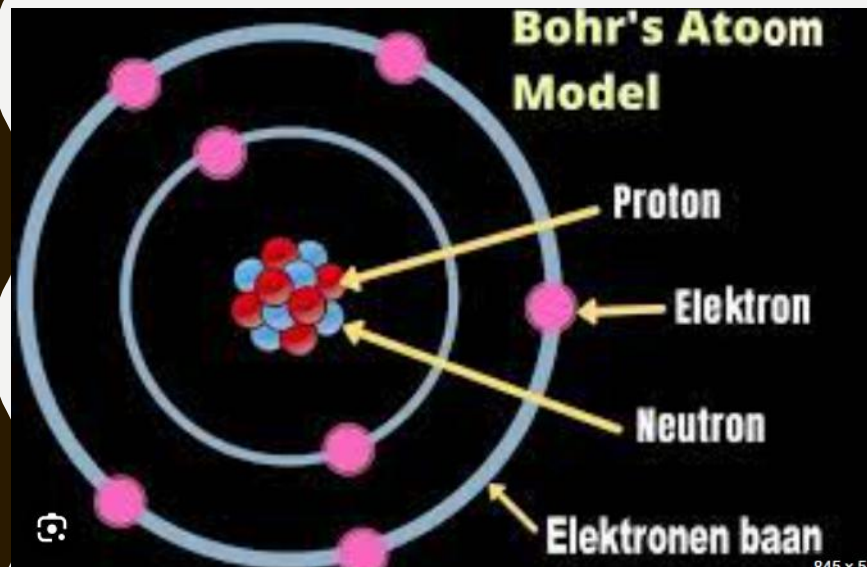
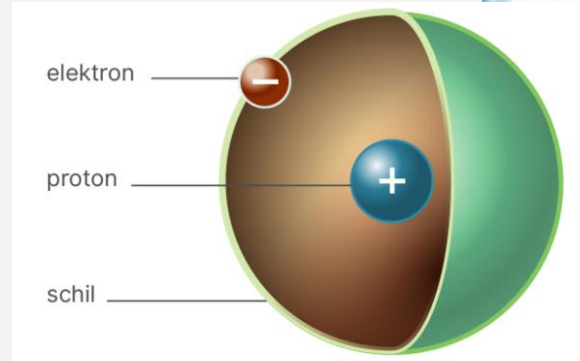
[When Did We Discover that Hydrogen Produces Water when Burned? | Earth Lab - YouTube](#)

- Galvani beschreef de omzetting chemisch naar elektrisch 1780
- Schönbein legde in 1838 de grondslag brandstofcel (pem )
- Pas in 1897 voor het eerst gebruikt in een gasbatterij en andere toepassingen
- Hindenburg zeppelin 1937
- Eerste tractor op H<sub>2</sub> 1960
- Nu vollop de energietransitie



# WAT IS WATERSTOF:

- Een energiedrager
- Het kleinste atoom
- Een gas
- Licht, kleurloos en reukloos
- Niet giftig
- Niet radioactief



A detailed periodic table of elements. The table is color-coded by groups and subgroups. A legend at the top right provides information about the color coding:

- State of matter (color of name):** GAS, LIQUID, SOLID, UNKNOWN
- Subcategory in the metal-metalloid-nonmetal trend (color of background):**
  - Alkali metal (orange)
  - Alkaline earth metal (yellow)
  - Transition metal (blue)
  - Lanthanide (light blue)
  - Actinide (dark blue)
  - Post transition metal (purple)
  - Metalloid (green)
  - Polyatomic nonmetal (light green)
  - Diatomic nonmetal (dark green)
  - Noble gas (pink)
  - Unknown chemical properties (grey)

The table includes element symbols, names, atomic numbers, and atomic weights. A callout box for Hydrogen (H) shows its atomic number (1), symbol (H), name (Hydrogen), and atomic weight (1.008).



# IS WATERSTOF GEVAARLIJK?

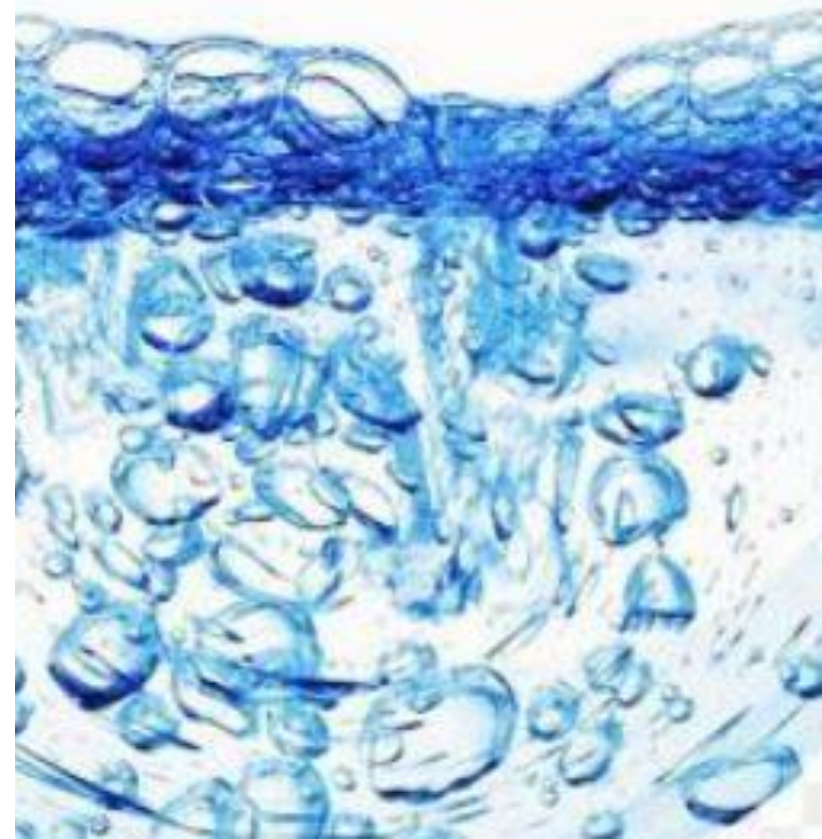
- Explosiegevaar?

Het is licht ontvlambaar maar stijgt op met 72 km/h (20 m/s) in een kamer.

| Karakteristiek   | Waterstof   | Commentaar  |
|--|---|---|
| Dichtheid gasvormig H <sub>2</sub> (0 °C, 1 atm)                 | 0,090 kg/Nm <sup>3</sup>  | 14 maal lichter dan lucht                               |
| Kookpunt (1 atm)   | - 252 °C (20 K)   | methaan: -161 °C (112 K)                                |
| Dichtheid vloeibare H <sub>2</sub>                               | 70,8 g/l  | benzine: 720 g/l  |
| Energie-inhoud gasvormige H <sub>2</sub> (OVW)*<br>(0 °C, 1 atm) | 120 MJ/kg<br>33,33 kWh/kg<br>10,8 MJ/Nm <sup>3</sup><br>3 kWh/Nm <sup>3</sup> | methaan: 50 MJ/kg<br><br>methaan: 36 MJ/Nm <sup>3</sup> |
| Energie-inhoud vloeibare H <sub>2</sub> (OVW)*                   | 8,5 MJ/l<br>120 MJ/kg<br>2,36 kWh/l   | benzine: 33 MJ/l<br>benzine: 46 MJ/kg                   |
| Ontvlambaarheidsgrenzen in lucht (25 °C, 1 atm)                  | 4 – 75 vol %  | methaan: 5,3 – 15,0 vol %                               |
| Detonatiegrenzen in lucht (25 °C, 1 atm)                         | 15 – 59 vol %   | methaan: 6,3 vol % - 13,5 vol %                         |
| Zelfontbrandingstemperatuur                                      | 585 °C  | methaan: 540 °C   |
| Ontstekingsenergie   | 0,02 mJ   | methaan: 0,29 mJ  |

WATE

H<sub>2</sub>



# WATERSTOF

- Vergelijking met CH<sub>4</sub>

## EIGENSCHAPPEN VAN AARDGAS EN WATERSTOF

| Brandstof   | Aardgas, laagcalorisch  | Aardgas, hoogcalorisch  | Waterstof   |
|---|---|---|---|
| Formule   | CH <sub>4</sub>   | CH <sub>4</sub>   | H <sub>2</sub>  |
| Emissie   | CO <sub>2</sub>   | CO <sub>2</sub>   | CO <sub>2</sub> -vrij   |
| Onderste verbrandingswaarde (kWh/m <sup>3</sup> )   | 8,83  | 10,8 - 12,8   | 3   |
| Energiedichtheid (MJ/m <sup>3</sup> )   | 31,7  | 38,8 - 46,1   | 10,7  |
| Soortelijke massa (kg/m <sup>3</sup> )  | 0,833   | 0,833   | 0,09  |
| Hoeveelheid verbrandingslucht in m <sup>3</sup><br>(bij stoichiometrische verbranding van 1 m <sup>3</sup> gas) | 8,5   | 8,5   | circa 2,2   |
| Rookgas temperatuur in vuurgang (°C)  | 1100 - 1300   | 1100 - 1300   | 1200 - 1400   |
| Verbrandingseigenschappen   | <ul style="list-style-type: none"><li>• zeer licht ontvlambaar</li><li>• zichtbare vlam</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• zeer licht ontvlambaar</li><li>• zichtbare vlam</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• zeer licht ontvlambaar</li><li>• onzichtbare vlam</li><li>• snelle verbranding (8x aardgas)</li></ul> |
| Rookgasdauwtemperatuur (°C)   | circa 57  | circa 57  | circa 71  |
| Zelfontbrandingstemperatuur (°C)  | 670   | 670   | 560   |
| Onderste explosiegrens (%)  | 5   | 5   | 4   |
| Bovenste explosiegrens (%)  | 16  | 16  | 75  |

Bronnen: Gasunie, Remeha, RVO

[www.gawalo.nl](http://www.gawalo.nl)

**Gawalo**



# IS WATERSTOF GEVAARLIJK?

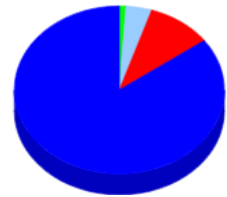
- Explosiegevaar?  
LEL en UEL

- Methaan CH<sub>4</sub>
- Propaan C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>
- Waterstof H<sub>2</sub>
- Methaan C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH

Voorbeeld

Methaan (CH<sub>4</sub>) L.E.L. = 5 % (= 50000 ppm), U.E.L. = 15 % 20 % L.E.L. = 1 % (= 10000 ppm)

Methaan

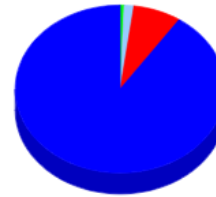


- Veilig gebied - (algemene definitie) 0-20% LEL
- Zekerheidsmarge - 20-100% LEL
- LEL (5%) -> UEL (15%)
- Rijk gebied 15% ->

Voorbeeld

Propaan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) L.E.L. = 2,1 % (= 21000 ppm), U.E.L. = 9,5 % 20 % L.E.L. = 0,42 % (= 4200 ppm)

Propaan

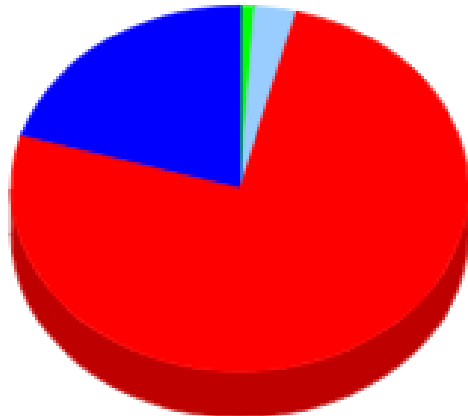


- Veilig gebied - (algemene definitie) 0-20% LEL
- Zekerheidsmarge - 20-100% LEL
- LEL (2,1%) -> UEL (9,5%)
- Rijk gebied 9,5% ->

Voorbeeld:

Waterstof (H<sub>2</sub>) L.E.L. = 4 % (=40000 ppm), U.E.L. = 75,6 % (756000 ppm).  
20 % LEL = 0,8 % (= 8000 ppm).

Waterstof

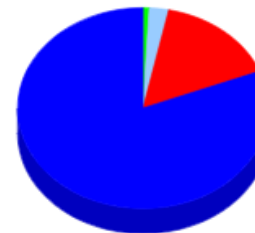


- Veilig gebied - (algemene definitie) 0-20% LEL
- Zekerheidsmarge - 20-100% LEL
- LEL (4%) -> UEL (75,6%)
- Rijk gebied 75,6% ->

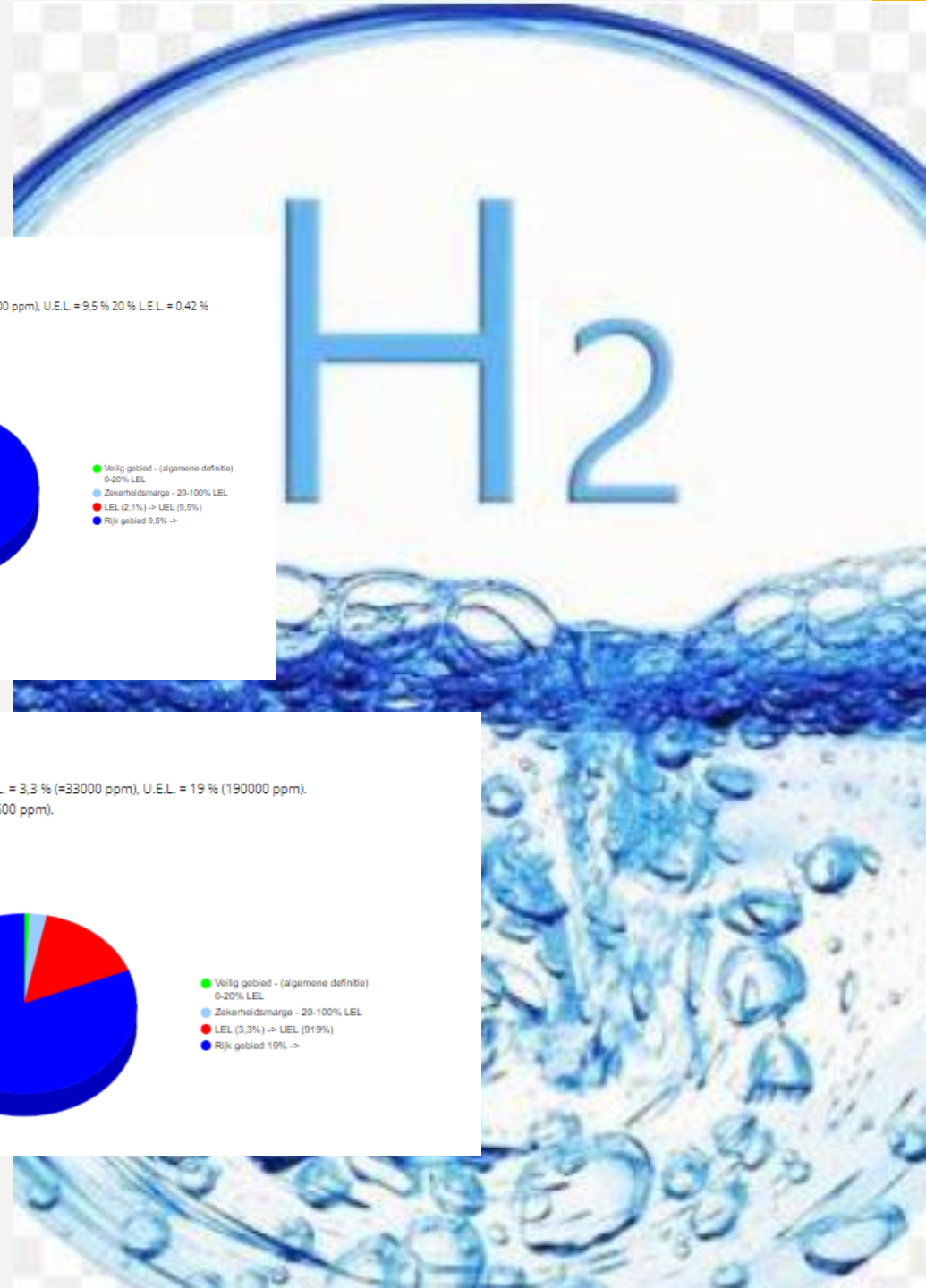
Voorbeeld:

ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) L.E.L. = 3,3 % (=33000 ppm), U.E.L. = 19 % (190000 ppm).  
20 % LEL = 0,66 % (= 6600 ppm).

Ethanol



- Veilig gebied - (algemene definitie) 0-20% LEL
- Zekerheidsmarge - 20-100% LEL
- LEL (3,3%) -> UEL (19%)
- Rijk gebied 19% ->



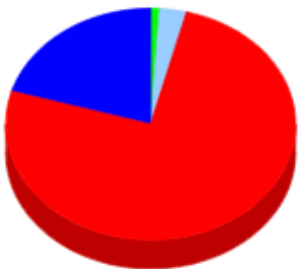
# BOUDEL OP EEN RIEGE EIGENSCHAPPEN H<sub>2</sub>:

- Stijgt met 72 km/h in een kamer
- Kleinste atoom komt altijd in 2-tallen voor dus H<sub>2</sub> of met andere elementen.
- Bevat 75% van de massa in het heelal
- 14 x lichter dan normale lucht (21%zuurstof en 78 % stikstof)
- Een energiedrager, kleinste atoom, gas vanaf -253 ° Celsius, kleurloos en reukloos., niet giftig en niet radioactief
- Brand 8x sneller dan aardgas

Voorbeeld:

Waterstof (H<sub>2</sub>) L.E.L. = 4 % (=40000 ppm), U.E.L. = 75,6 % (756000 ppm).  
20 % LEL = 0,8 % (= 8000 ppm).

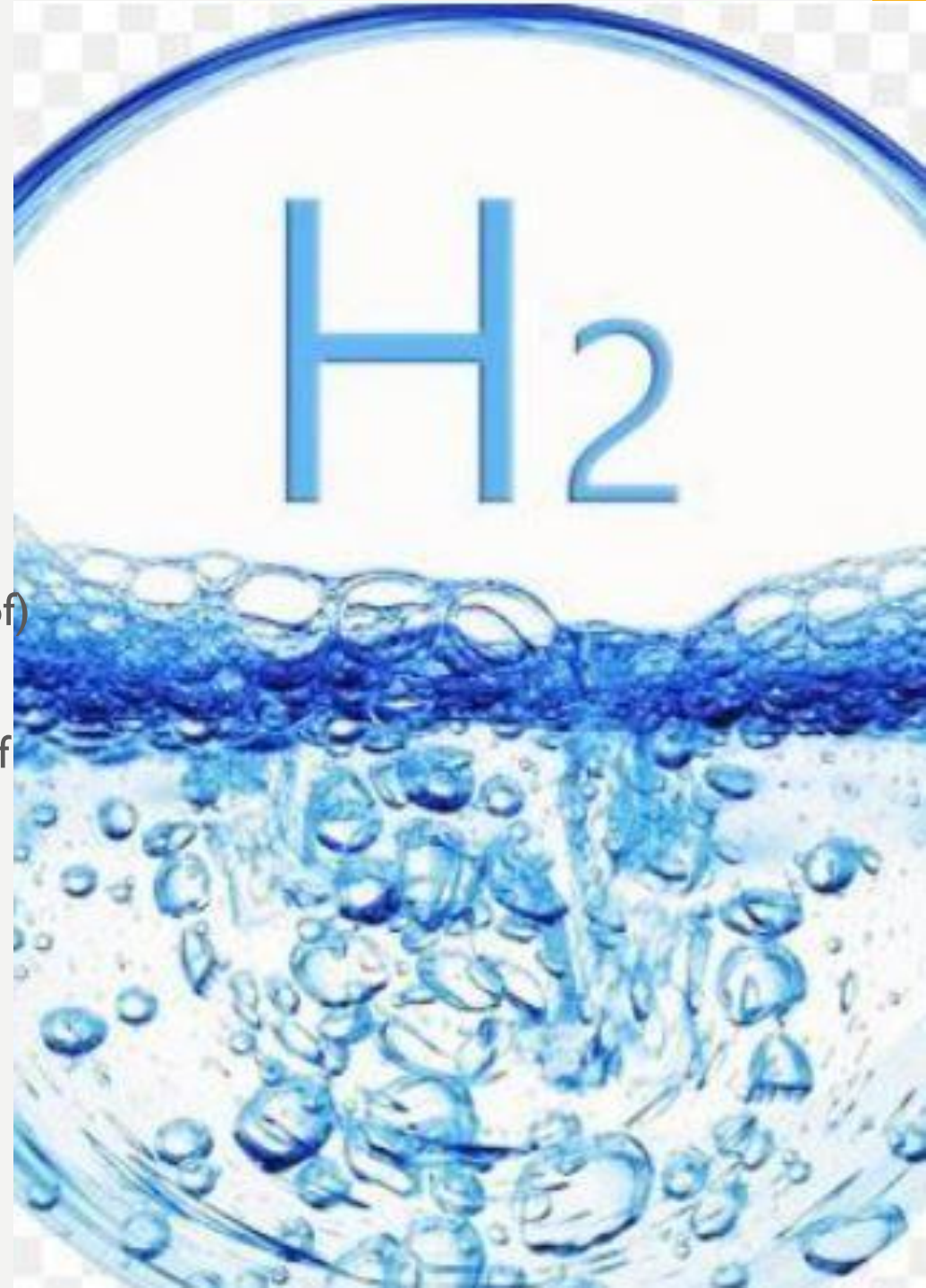
Waterstof



- Veilig gebied - (algemene definitie) 0-20% LEL
- Zekerheidsmarge - 20-100% LEL
- LEL (4%) -> UEL (75,6%)
- Rijk gebied 75,6% ->

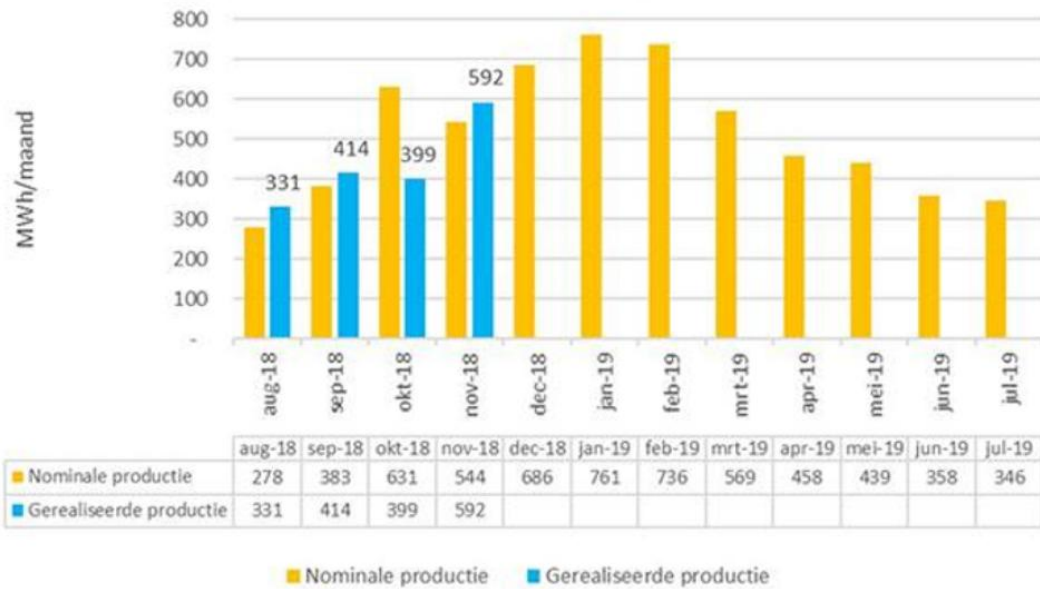
- Explosiegevaar?

LEL en UEL

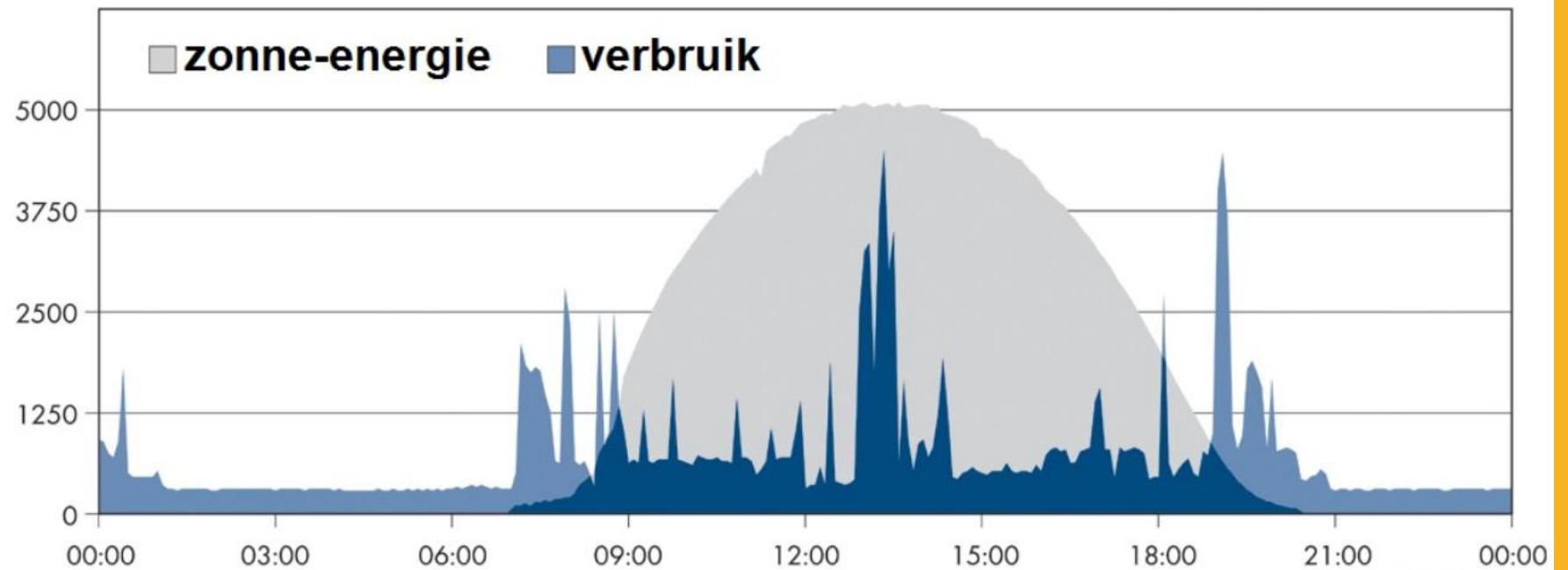




Maandproductie Windmolen Kralingseveer 2018-2019



# WAAROM WATERSTOF?



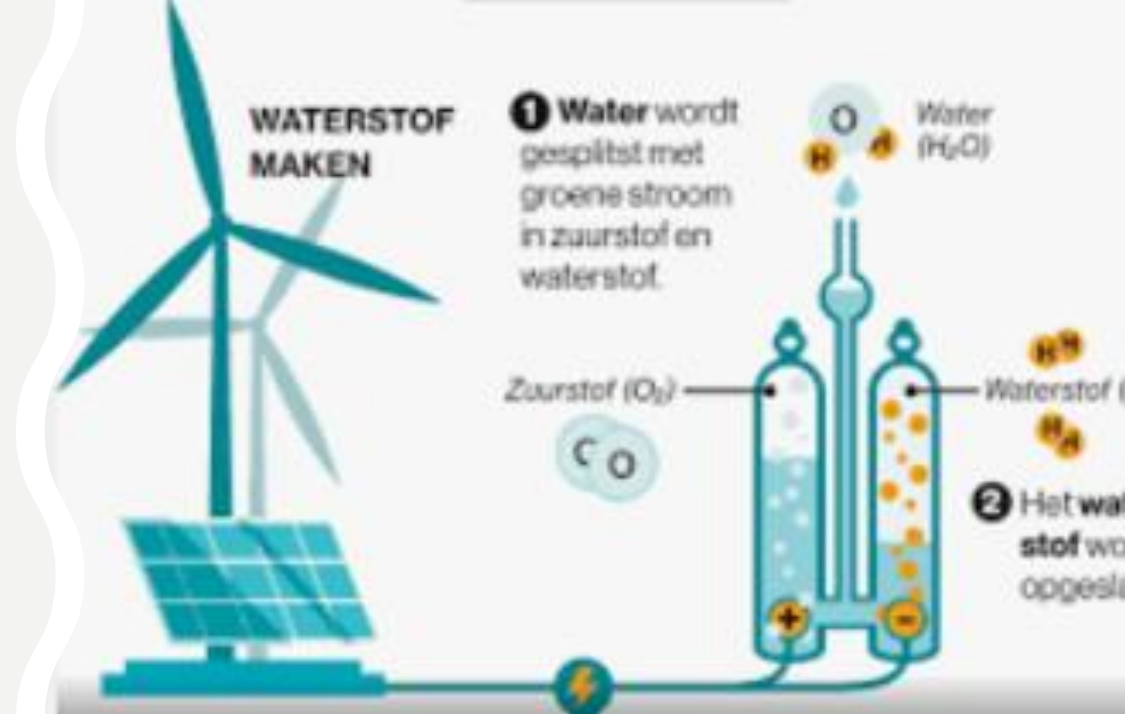
Bron: SMA Solar





# HOE GEBRUIK JE HET?

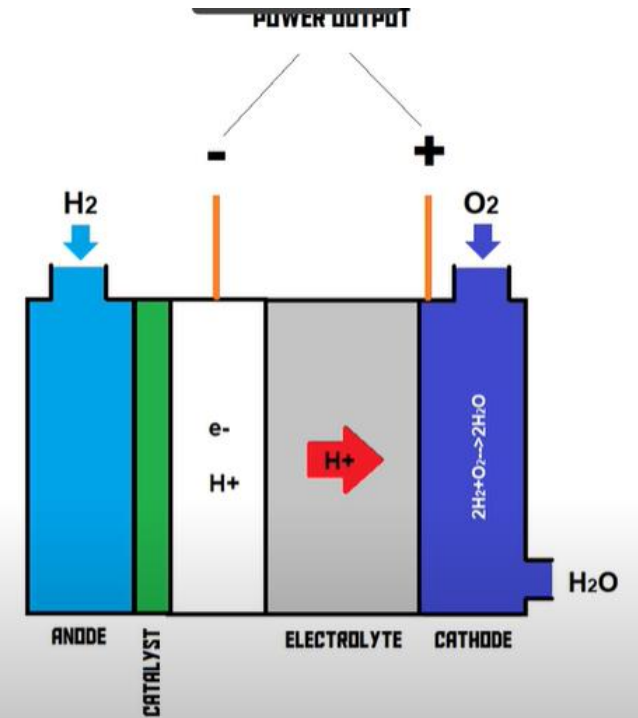
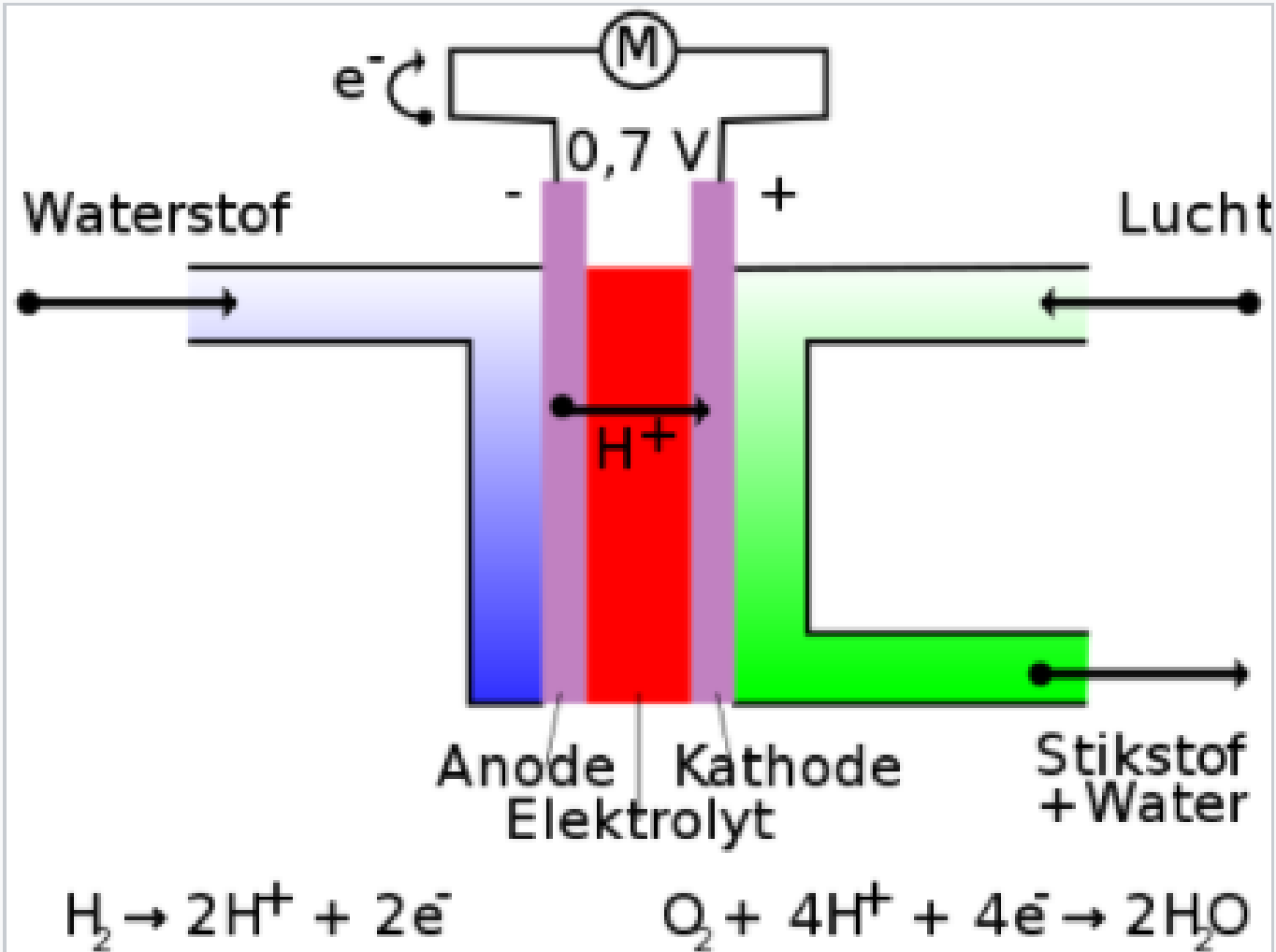
## BRANDSTOFCELLEN



| Type                                       | Elektrolyt   | Mobiele ion     | Katalysator                   | Toepassingsvoorbeeld  | Bedrijfstemperatuur (°C) |
|--|--|-----------------|-------------------------------|---|--------------------------|
| Alkaline Fuel Cell (AFC)                   | Kaliloog (vloeibaar kaliumhydroxide)               | Hydroxide-ionen | Platina of kobalt             | ruimtevaart, (transport)  | < 80                     |
| Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)           | Vast polymeer                                      | Waterstofionen  | ?                             | laptop, mobieltje, draagbare energie, transport.                  | 90-120                   |
| Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) | Vast polymeer                                      | Waterstofionen  | Platina-74, Platina/Ruthenium | transport, grootschalige energieopwekking, WKK, draagbare energie | 50-220                   |
| Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)           | Geconcentreerd fosforzuur                          | Waterstofionen  | Platina                       | grootschalige energieopwekking, WKK                               | 200                      |
| Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)          | Mengsel van gesmolten lithium- en kaliumcarbonaten | Carbonaationen  | Nikkel of nikkeloxide         | grootschalige energieopwekking, WKK                               | 650                      |
| Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)               | Zirkoniumoxide gestabiliseerd met yttriumoxide     | Oxide-ionen     | ?                             | grootschalige energieopwekking, WKK                               | 800-1000                 |



# PEM HOE WERKT DAT?





# HOE SLA JE HET OP?

- Vloeibaar onder hoge druk van 350 tot 700 Bar
- In speciale tanks
- Of in metaalhydride onder lage druk van 12 Bar



# WAT DOET HET NOORDERPOORT?

Vanaf 2017: Opleiding docenten (met dank aan de gemeente Groningen)

Vanaf 2018: Ontwikkeling waterstofonderwijs en practor Automotive wordt 'practor' waterstof voor Energy College

Vanaf 2019: Keuzedeel waterstoftechnologie basis (dus nu al het vierde jaar)

Vanaf 2019: In kernteam hive mobility

Vanaf 2020: Samenwerking met HBO-WO en LLO in het kader van de Groene waterstof booster

Vanaf 2021: Landelijke learning community gekoppeld aan invulling Human Capital Waterstoftechnologie

Groenvermogen NL

Vanaf 2021: LLO opleiding waterstoftechnologie NP ikv Nederland Leert Door (dit najaar tweede keer)

Vanaf 2021: LLO opleiding waterstoftechnologie nieuwe medewerkers Hyzon

Vanaf 2020-2021: Steeds meer autonome ontwikkelingen en studentenprojecten: waterstofboten, waterstofopstellingen

en nog meer zichtbaarheid van waterstoftechnologie (Pragma waterstoffiets, Waterstof bakfiets (verwacht), etcetera)

Vanaf 2022: Garage van de toekomst als deel van het Hive Mobility Centre



# BRONNEN:

Bron: [Hoeveel lege ruimte zit er in een atoom? - KIJK Magazine](#)

[Wat is waterstof? - Longread Waterstof \(dewereldvanwaterstof.nl\)](#)

[Historie - Longread Waterstof \(dewereldvanwaterstof.nl\)](#)